

10/031658



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 26 756 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
F 02 D 41/26
F 02 D 33/00

②⑦ Aktenzeichen: 197 26 756.4
②② Anmeldetag: 24. 6. 97
④③ Offenlegungstag: 7. 1. 99

DE 197 26 756 A 1

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦④ Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart

⑦② Erfinder:
Bochum, Hansjoerg, Dr., 70771
Leinfelden-Echterdingen, DE; Scherrbacher, Klaus,
71701 Schwieberdingen, DE

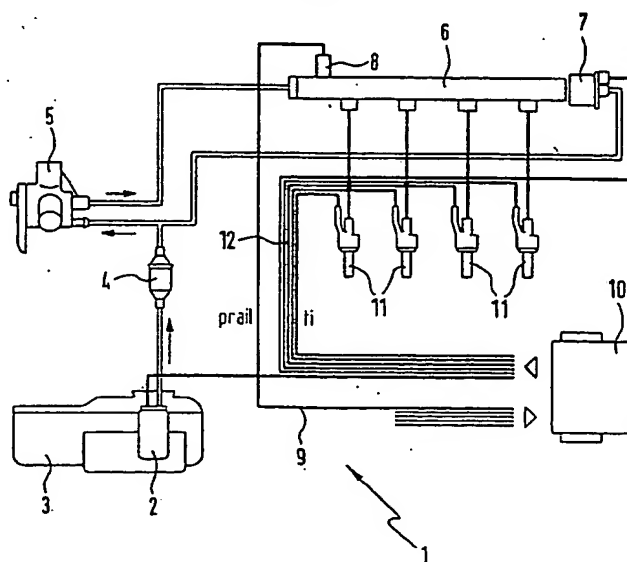
⑤⑤ Entgegenhaltungen:
DE 1 95 16 923 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ System zum Betreiben einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs

⑤⑦ Es ist eine Brennkraftmaschine insbesondere für ein Kraftfahrzeug beschrieben, die mit mindestens einem Brennraum versehen ist, dem ein Einspritzventil (11) zugeordnet ist, mit dem Kraftstoff direkt in den Brennraum einspritzbar ist. Des weiteren ist eine Pumpe (2, 5) vorgesehen zur Erzeugung eines Drucks (prail) auf den dem Einspritzventil (11) zugeführten Kraftstoff sowie ein Drucksensor (8) zur Messung des auf den Kraftstoff wirkenden Drucks (prail). Ein Steuergerät (10) ist vorhanden zur Steuerung und/oder Regelung der eine Verbrennung des Kraftstoffs in dem Brennraum beeinflussenden Größe. Dieses Steuergerät (10) ermittelt die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus dem während derselben Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck (prail). Auf diese Weise kann die einzuspritzende Kraftstoffmasse wesentlich genauer als bisher zugemessen werden.



197 26 756 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, bei dem Kraftstoff unter einem Druck direkt in einen Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt wird, und bei dem der auf den Kraftstoff einwirkende Druck gemessen wird. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Brennkraftmaschine insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit mindestens einem Brennraum, dem ein Einspritzventil zugeordnet ist, mit dem Kraftstoff direkt in den Brennraum einspritzbar ist, mit einer Pumpe zur Erzeugung eines Drucks auf den dem Einspritzventil zugeführten Kraftstoff, mit einem Drucksensor zur Messung des auf den Kraftstoff wirkenden Drucks, und mit einem Steuergerät zur Steuerung und/oder Regelung der eine Verbrennung des Kraftstoffs in dem Brennraum beeinflussenden Größen.

Ein derartiges Verfahren ist insbesondere von Kraftfahrzeugen mit direkteinspritzenden Diesel- oder Benzin-Brennkraftmaschinen bekannt. Dort ist jedem Brennraum jeweils ein Einspritzventil zugeordnet, mit dem der Kraftstoff unter Druck in den jeweiligen Brennraum direkt eingespritzt wird. Zur Erzeugung des auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks ist eine Pumpe vorgesehen, mit der der Kraftstoff zu den Einspritzventilen gepumpt wird.

Unter anderem für die Bemessung der in die Brennräume einzuspritzenden Kraftstoffmasse ist der auf den Kraftstoff bei der jeweiligen Einspritzung wirkende Druck wesentlich. So ist beispielsweise für dieselbe einzuspritzende Kraftstoffmasse bei einem höheren Druck nur eine kürzere Einspritzdauer erforderlich, während umgekehrt bei einem niedrigeren Druck das jeweilige Einspritzventil länger in seinen geöffneten Zustand gesteuert werden muß.

Wäre der auf den Kraftstoff wirkende Druck während der Einspritzdauer der Einspritzung etwa konstant, so könnte aus der Einspritzdauer direkt auf die eingespritzte Kraftstoffmasse geschlossen werden. Umgekehrt wäre es also bei einem etwa konstanten Druck möglich, die für eine erwünschte, einzuspritzende Kraftstoffmasse erforderliche Einspritzdauer im voraus zu berechnen.

Aufgrund des eher geringen Volumens des Kraftstoffs, auf den der Druck einwirkt, verändert sich der auf den Kraftstoff einwirkende Druck jedoch während der Einspritzdauer. So verringert sich der auf den Kraftstoff einwirkende Druck nach dem Öffnen des Einspritzventils und steigt erst nach dem Schließen des Einspritzventils wieder an.

Mit dem Drucksensor wird dieser sich ändernde, von der Pumpe erzeugte und auf den Kraftstoff einwirkende Druck gemessen.

Das Problem liegt nun darin, daß einerseits der auf den Kraftstoff bei der jeweiligen Einspritzung einwirkende Druck sich wie erwähnt ändert und damit im voraus nicht bekannt ist, daß andererseits dieser Druck jedoch bei der Bemessung der mit der Einspritzung einzuspritzenden Kraftstoffmasse berücksichtigt werden muß. Dieses Problem wird bisher dadurch gelöst, daß für die Bemessung der Kraftstoffmasse der nächsten Einspritzung der bei einer der letzten Einspritzungen gemessene, auf den Kraftstoff einwirkende Druck verwendet wird. Systembedingt ist dieses Verfahren ungenau und führt deshalb zu Fehlern bei der Einspritzung.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, mit dem eine genauere Bemessung der einzuspritzenden Kraftstoffmasse möglich ist.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art bzw. bei einer Brennkraftmaschine der eingangs genannten Art durch die Erfindung dadurch gelöst, daß die

während derselben Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck ermittelt wird.

Es wird also der bei derselben Einspritzung gemessene, auf den Kraftstoff einwirkende Druck unmittelbar dazu verwendet, die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse zu ermitteln. Es wird also aus dem Druck unmittelbar auf die zugehörige Kraftstoffmasse geschlossen und diese dann entsprechend beeinflusst. Der Vorgang der Einspritzung, insbesondere die eingespritzte Kraftstoffmasse wird somit erfindungsgemäß über die Messung des auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks in Echtzeit überwacht und gegebenenfalls beeinflusst.

Auf diese Weise ist es möglich, die Genauigkeit der einzuspritzenden Kraftstoffmasse wesentlich zu erhöhen. Fehler, die bisher aufgrund von Änderungen des auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks entstehen, werden durch das erfindungsgemäße Echtzeit-Verfahren vermieden. Damit wird erreicht, daß die Brennkraftmaschine wesentlich ruhiger läuft, also wesentlich weniger Ruckelvorgänge aufgrund von ungenau eingespritzten Kraftstoffmassen aufweist. Des weiteren wird durch die Erfindung eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und eine Reduktion der ausgestoßenen Abgase bewirkt.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus einer Veränderung des während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks ermittelt. Es wird also die Veränderung des auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks beobachtet und in Abhängigkeit davon gegebenenfalls die einzuspritzende Kraftstoffmasse beeinflusst. Durch diese Maßnahme wird die Veränderung des Drucks während der Einspritzdauer der Einspritzung unmittelbar erfaßt und bei der Einspritzung in Echtzeit verwendet.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird aus dem während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck auf eine zu große eingespritzte Kraftstoffmasse und/oder auf eine zu kleine eingespritzte Kraftstoffmasse und/oder auf eine fehlende eingespritzte Kraftstoffmasse geschlossen. Verändert sich während einer Einspritzung der auf den Kraftstoff einwirkende Druck beispielsweise nur geringfügig oder gar nicht, so wird daraus auf eine zu geringe eingespritzte Kraftstoffmasse oder auf ein Fehlen einer Einspritzung geschlossen. Auf diese Weise kann durch die beschriebene eher grobe Überwachung des Drucks in Echtzeit auf einen Fehler bei der Einspritzung geschlossen werden. Damit ist es schon sehr frühzeitig möglich, einem erkannten Fehler durch geeignete Maßnahmen entgegenzuwirken oder entsprechende Fehlermeldungen beispielsweise an den Fahrer des Kraftfahrzeugs zu erzeugen.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus der maximalen Veränderung des während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks berechnet. Diese maximale Veränderung des Drucks ist besonders einfach festzustellen, so daß auch die daraus abgeleitete Kraftstoffmasse besonders einfach und schnell berechnet werden kann.

Dabei ist es besonders zweckmäßig, wenn die Kraftstoffmasse mittels einer linearen Funktion und/oder einer Integration und/oder aus einem Kennfeld und/oder einer Wurzelfunktion berechnet wird. Die Auswahl der jeweiligen Rechenmethode kann dabei in Abhängigkeit von der gewünschten Genauigkeit und/oder der zur Verfügung stehenden Rechenzeit getroffen werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, bei der die Kraftstoffmasse mittels eines Einspritzventils in den Brennraum eingespritzt wird, wird die bei der

Teilkraftstoffmasse während des Öffnens des Einspritzventils, einer zweiten Teilkraftstoffmasse während des geöffneten Zustands des Einspritzventils und einer dritten Teilkraftstoffmasse während des Schließens des Einspritzventils berechnet. Durch diese Aufteilung der gesamten eingespritzten Kraftstoffmasse in drei Teilkraftstoffmassen wird eine besonders genaue und schnelle Berechnung der gesamten Kraftstoffmasse möglich. Des weiteren ist es dadurch möglich, die speziellen Randbedingungen während der jeweiligen Zustände des Einspritzventils besonders gut bei der Berechnung zu berücksichtigen.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die erste Teilkraftstoffmasse aus dem auf den Kraftstoff einwirkenden Druck im Zeitpunkt des Beginns des Öffnens des Einspritzventils und/oder die zweite und die dritte Teilkraftstoffmasse aus dem aktuellen auf den Kraftstoff einwirkenden Druck berechnet. Des weiteren ist es besonders zweckmäßig, wenn zur Berechnung der ersten, zweiten und/oder dritten Teilkraftstoffmasse Funktionen oder Kennfelder oder dergleichen verwendet werden.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die aktuelle Einspritzung abgebrochen, wenn die bei der aktuellen Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse einen vorgegebenen Sollwert überschreitet. Es wird also die aktuell mit Hilfe des auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks berechnete eingespritzte Kraftstoffmasse mit dem vorgegebenen Sollwert verglichen. Wird dabei festgestellt, daß die aktuell eingespritzte Kraftstoffmasse den Sollwert bereits überschritten hat, so wird die aktuelle Einspritzung abgebrochen. Entsprechendes wird durchgeführt, wenn vorausgesehen werden kann, daß die eingespritzte Kraftstoffmasse unmittelbar davor steht, den Sollwert zu überschreiten. Durch diese Maßnahmen wird erreicht, daß die eingespritzte Kraftstoffmasse auf den vorgegebenen Sollwert begrenzt wird. Dies bringt die bereits erwähnten Vorteile eines ruhigen Laufs der Brennkraftmaschine bei einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Abgase mit sich.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird vorausberechnet, in welchem Zeitpunkt die bei der aktuellen Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse einen vorgegebenen Sollwert überschreiten würde, und es wird in Abhängigkeit von diesem Zeitpunkt die aktuelle Einspritzung abgebrochen. Es findet also eine Prädiktion statt, mit der die einzuspritzende Kraftstoffmasse abgeschätzt wird. Auf diese Weise ist es möglich, genau vorauszurechnen, wann die eingespritzte Kraftstoffmasse dem Sollwert entspricht, um dann in diesem Zeitpunkt die Einspritzung abzubrechen.

Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Form eines elektrischen Speichermediums, das für ein Steuergerät einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs vorgesehen ist. Dabei ist auf dem elektrischen Speichermedium ein Programm abgespeichert, das auf einem Rechengert, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfindung durch ein auf dem elektrischen Speichermedium abgespeichertes Programm realisiert, so daß dieses mit dem Programm versehene Speichermedium in gleicher Weise die Erfindung darstellt wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Programm geeignet ist.

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich

dung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung.

Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Systems zum Betreiben einer mit mehreren Brennräumen versehenen Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs,

Fig. 2a bis 2c zeigen schematische Zeitdiagramme von in dem System der Fig. 1 auftretenden Signalen, und

Fig. 3 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben des Systems der Fig. 1.

In der Fig. 1 ist ein Kraftstoffversorgungssystem 1 einer Brennkraftmaschine dargestellt, das für den Einsatz in einem Kraftfahrzeug vorgesehen ist. Die Brennkraftmaschine weist vier Zylinder und damit vier Brennräume auf. Bei der Brennkraftmaschine handelt es sich um eine Ausführungsform, bei der der Kraftstoff, vorzugsweise Benzin, direkt in die Brennräume eingespritzt wird.

Der Kraftstoff wird von einer Pumpe 2 aus einem Behälter 3 über ein Filter 4 zu einer weiteren Pumpe 5 transportiert, von der der Kraftstoff in eine Druckkammer 6 gepumpt wird. Mit Hilfe der Pumpen 2, 5 ist in der Druckkammer 6 ein relativ hoher, auf den Kraftstoff einwirkender Druck vorhanden. An die Druckkammer 6 ist ein Drucksteuerventil 7 und ein Drucksensor 8 angeschlossen, wobei mit letzterem der in der Druckkammer 6 vorhandene und auf den Kraftstoff einwirkende Druck gemessen werden kann. Der Drucksensor 8 erzeugt ein elektrisches Signal $prail$, das dem gemessenen Druck entspricht, und das über eine Leitung 9 ein elektrisches Steuergerät 10 beaufschlagt. Mit Hilfe des Drucksteuerventils 7 und des Drucksensors 8 kann der Druck in der Druckkammer 6, also der auf den Kraftstoff einwirkende Druck von dem Steuergerät 10 auf einen hohen und etwa konstanten Ausgangswert geregelt werden.

Bei dem Steuergerät 10 kann es sich beispielsweise um einen programmierbaren Mikroprozessor handeln, der mit Speichern und sonstigen erforderlichen Bauteilen versehen ist, und der in das Kraftfahrzeug eingebaut ist. Das Steuergerät 10 erhält dabei die für die Durchführung des Verfahrens erforderlichen Signale unter anderem von den jeweiligen Sensoren, beispielsweise von dem Drucksensor 8, und erzeugt daraus nach dem beschriebenen Verfahren die erforderlichen Signale zur Ansteuerung beispielsweise von Aktoren, so z. B. zur Ansteuerung von Einspritzventilen 11 oder des Drucksteuerventils 7.

Vier Einspritzventile 11 sind an die Druckkammer 6 angeschlossen. Jedes der Einspritzventile 11 ist direkt einem Brennraum der Brennkraftmaschine zugeordnet. Durch die geschlossenen Einspritzventile 11 wird die Druckkammer 6 von dem jeweiligen Brennraum getrennt. Über elektrische Leitungen 12 sind die Einspritzventile 11 mit dem Steuergerät 10 verbunden. Zur Ansteuerung eines der Einspritzventile 11 erzeugt das Steuergerät 10 ein elektrisches Signal ti , mit dem das entsprechende Einspritzventil 11 in seinen geöffneten Zustand gesteuert wird. Die Länge des Signals ti entspricht der Einspritzdauer, während der Kraftstoff aus der Druckkammer 6 über das entsprechende Einspritzventil 11 in den zugehörigen Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt wird.

In der Fig. 2a ist das Signal ti und das Signal $prail$ über der Zeit t aufgetragen. Vor Beginn der Einspritzung, also vor dem Zeitpunkt $T1$, ist der Druck $prail$ in der Druckkammer 6, also auf der einen Seite des Einspritzventils 11, auf dem genannten, etwa konstanten und hohen Ausgangswert. Der Druck in dem Brennraum auf der anderen Seite des Ein-

Einspritzventil 11 im Zeitpunkt T1 durch das Signal ti in seinen geöffneten Zustand gesteuert, so fällt der Druck prail ab. Dies ergibt sich daraus, daß nunmehr der Druck prail sich über das geöffnete Einspritzventil 11 in den Brennraum entspannen kann. Insgesamt sinkt der Druck prail gemäß der Fig. 2a um einen Wert Δp auf einen minimalen Wert ab. Dann hat ein Druckausgleich zwischen der Druckkammer 6 und dem Brennraum stattgefunden - der dazu führt, daß nunmehr der Druck prail langsam wieder ansteigt. Wird das Einspritzventil 11 im Zeitpunkt T2 wieder geschlossen, so steigt der Druck prail weiter an, bis er den etwa konstanten und hohen Ausgangswert wieder erreicht hat.

Die während dieses Vorgangs von der Druckkammer 6 über das Einspritzventil 11 in den zugehörigen Brennraum eingespritzte Kraftstoffmasse hängt von dem Druck prail ab. Je größer der auf den Kraftstoff einwirkende Druck ist, desto mehr Kraftstoff gelangt während des geöffneten Zustands des Einspritzventils 11 von der Druckkammer 6 in den Brennraum. Umgekehrt gilt entsprechendes. Des weiteren hängt die eingespritzte Kraftstoffmasse von dem Einspritzventil 11 ab, insbesondere von dessen dynamischem Verhalten beim Öffnen und beim Schließen.

Es ist nun möglich, daß die verwendeten Einspritzventile 11 im Hinblick auf ihr dynamisches Verhalten beim Öffnen und Schließen vorab vermessen werden. Auf diese Weise ist es möglich, vorab zu ermitteln, in welcher Weise der Druck prail sich bei einer Einspritzung korrekterweise verändern darf. Insbesondere ist es möglich, vorab zu ermitteln, um welchen Wert Δp der Druck prail bei einer Einspritzung abfallen darf. Diese Werte können, wie erwähnt, vorab für die verschiedenen Einspritzventile 11 und die verschiedenen Zustände der Brennkraftmaschine ermittelt und abgespeichert werden.

Im Betrieb der Brennkraftmaschine ergibt sich dann beispielsweise ein Verlauf des Signals prail, wie dies in der Fig. 2b dargestellt ist. Dort ist zu erkennen, daß die aufeinanderfolgenden Einspritzungen unterschiedliche Veränderungen des Drucks prail jeweils zur Folge haben. Insbesondere ergeben sich unterschiedliche Werte Δp_1 , Δp_2 und Δp_3 . Dies resultiert insbesondere aus dem unterschiedlichen dynamischen Verhalten der verschiedenen Einspritzventile 11. Durch die vorab erfolgte Vermessung der Einspritzventile sind jedoch, wie erläutert, die zu erwartenden Veränderungen des Drucks prail bei jeder Einspritzung schon bekannt. Es ist deshalb möglich, nunmehr im Betrieb diese zu erwartenden Verläufe des Drucks prail mit den aktuellen Verläufen des Drucks prail in Echtzeit zu vergleichen. Stimmen die zu erwartenden Verläufe mit den aktuellen Verläufen im wesentlichen überein, so kann daraus auf eine korrekte Einspritzung geschlossen werden.

Ergeben sich bei diesem Vergleich jedoch wesentliche Unterschiede, so kann daraus auf einen Fehler bei der Einspritzung geschlossen werden. Hierzu sind Beispiele in der Fig. 2c angegeben. Dort ist ein normaler Verlauf des Drucks prail während einer Einspritzung mit dem Bezugszeichen 13 gekennzeichnet. Dann ist ein im wesentlichen unveränderter Verlauf des Drucks prail mit dem Bezugszeichen 14 gekennzeichnet. Daraus kann geschlossen werden, daß die an sich aufgrund des Signals ti vorgesehene Einspritzung gar nicht stattgefunden hat. Eine kleine Veränderung des Drucks prail ist mit dem Bezugszeichen 15 gekennzeichnet. Aus diesem Verlauf kann durch einen Vergleich mit dem an sich erwarteten Verlauf geschlossen werden, daß bei dieser Einspritzung zu wenig Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt worden ist. Des weiteren ist eine große Veränderung des Drucks prail mit dem Bezugszeichen 16 gekennzeichnet. Daraus kann durch einen Vergleich geschlossen werden, daß

den ist.

Wird auf diese Weise beispielsweise festgestellt, daß trotz eines Signals ti gar keine Einspritzung stattgefunden hat, so kann eine entsprechende Fehlerroutine von dem Steuergerät 10 gestartet werden, mit der dem Fehler entgegengewirkt wird oder mit der dem Fahrer des Kraftfahrzeugs der Fehler mitgeteilt wird. Weist die Brennkraftmaschine eine Endstufe für die Ansteuerung der Einspritzventile 11 mit einer Spannungshochsetzung auf, bei der immer z. B. zwei der Einspritzventile 11 gemeinsam angesteuert werden, so kann durch entsprechende Vergleiche festgestellt werden, ob - wenn immer nur ein Verlauf entsprechend dem Bezugszeichen 14 vorhanden ist - nur eines der beiden Einspritzventile 11 defekt ist, oder ob - wenn der genannte Verlauf immer paarweise auftritt - die zugehörige Endstufe defekt ist.

Aus der Messung des Wertes Δp während einer Einspritzung kann des weiteren die aktuell eingespritzte Kraftstoffmasse berechnet werden. Dabei ist es möglich, daß der Wert Δp zur Berechnung der Kraftstoffmasse linear mit einem Faktor verknüpft wird, der insbesondere die dynamischen und/oder hydraulischen Eigenschaften des Kraftstoffversorgungssystems 1 berücksichtigt, also beispielsweise die Drehzahl der Brennkraftmaschine, die an der Brennkraftmaschine anliegende Last und dergleichen. Diese Verknüpfung kann auch mittels eines Kennfelds durchgeführt werden. Des weiteren kann bei der Verknüpfung auch noch eine Integration des Wertes Δp über der Zeit vorgenommen werden oder eine Wurzelbildung des Wertes Δp mit nachfolgender Integration.

Auf der Grundlage dieser Berechnung der aktuell eingespritzten Kraftstoffmasse kann dann in Echtzeit in die aktuell erfolgende Einspritzung von Kraftstoff in die Brennkraftmaschine eingegriffen werden. Dies wird nachfolgend anhand der Fig. 3 näher erläutert.

In der Fig. 3 ist ein Verfahren zum Betreiben des Kraftstoffversorgungssystems 1 der Fig. 1 dargestellt. Nachdem das Signal ti entsprechend der Fig. 2a im Zeitpunkt T1 in seinen eingeschalteten Zustand übergegangen ist, wird der in der Druckkammer 6 vorhandene Druck prail und damit der auf den Kraftstoff einwirkende Druck in kurzen zeitlichen Abständen gemessen. Der erste gemessene Wert, also der Druck zum Zeitpunkt T1, bei dem das Einspritzventil 11 geöffnet wird, ist in der Fig. 3 mit prail.EV-öffnen bezeichnet. Die danach gemessenen Werte sind mit prail-aktuell bezeichnet.

Der Wert prail.EV-öffnen wird einem Kennfeld 17 zugeführt, von dem eine erste Teilkraftstoffmasse berechnet wird, die dem Zeitraum zugeordnet ist, während dem das Einspritzventil 11 in seinen geöffneten Zustand übergeht. Die erste Teilkraftstoffmasse ist dabei abhängig von dem Druck prail.EV-öffnen, der in dem Zeitpunkt T1 vorhanden ist, in dem das Einspritzventil 11 geöffnet wird. Des weiteren ist die erste Teilkraftstoffmasse von dem Einspritzventil 11 als solchem und insbesondere von dessen dynamischem Öffnungsverhalten abhängig.

Die erste Teilkraftstoffmasse steht dann als Signal mkr.EV-öffnen zur Verfügung.

Während des Zeitraums, während dem das Einspritzventil 11 sich statisch in seinem geöffneten Zustand befindet, werden die Werte prail.aktuell in den genannten kurzen zeitlichen Abständen jeweils einem Kennfeld 18 zugeführt, von dem jeweils ein Wert mkr berechnet wird. Dieser Wert mkr ist dabei abhängig von dem jeweiligen Druck prail.aktuell sowie von dem Einspritzventil 11 als solchem, insbesondere von dessen strömungstechnischer Ausgestaltung. Der Wert mkr wird dann für jeden der gemessenen Drücke prail.aktuell mittels einer Rückkopplung 19 aufintegriert. Zu diesem

immer als Wert mk_{old} zwischengespeichert, um dann wieder zu dem nächsten Wert mk_r hinzuaddiert zu werden. Der Wert mk_{old} entspricht einer zweiten Teilkraftstoffmasse, die, wie erwähnt, dem Zeitraum entspricht, in dem das Einspritzventil 11 sich statisch in seinem geöffneten Zustand befindet.

Des weiteren wird der Wert $prail$ aktuell einem Kennfeld 20 zugeführt, von dem ein Wert $mk_r.EV$ -schließen als dritte Teilkraftstoffmasse berechnet wird. Der Wert $mk_r.EV$ -schließen entspricht dabei derjenigen Kraftstoffmasse, die noch über das Einspritzventil 11 in den Brennraum eingespritzt werden würde, wenn das Einspritzventil 11 sofort geschlossen werden würde. Die dritte Teilkraftstoffmasse $mk_r.EV$ -schließen ist somit demjenigen Zeitraum zugeordnet, den das Einspritzventil 11 benötigt, um nach dem Zeitpunkt T2 in den geschlossenen Zustand überzugehen. Diese dritte Teilkraftstoffmasse $mk_r.EV$ -schließen ist dabei abhängig von dem Druck $prail$ aktuell sowie von dem Einspritzventil 11, insbesondere von dessen dynamischem Schließverhalten.

Aus den beschriebenen drei Teilkraftstoffmassen ergibt sich somit die gesamte Kraftstoffmasse, die bei der durch das Signal ti ausgelösten Einspritzung über das Einspritzventil 11 in den zugehörigen Brennraum eingespritzt werden würde, wenn die Einspritzung sofort abgebrochen werden würde. Entsprechend der Fig. 3 werden die drei Teilkraftstoffmassen $mk_r.EV$ -öffnen, mk_{old} , $mk_r.EV$ -schließen nacheinander aufaddiert. Die sich daraus ergebende gesamte Kraftstoffmasse wird mittels einer entsprechenden Funktion 21 mit einem vorgegebenen erwünschten Sollwert mk_{soll} für die einzuspritzende Kraftstoffmasse verglichen.

Ergibt sich bei dem Vergleich, daß die berechnete aktuelle Kraftstoffmasse größer ist als der vorgegebene Sollwert mk_{soll} , so wird die aktuelle Einspritzung sofort abgebrochen. Dies wird mit Hilfe eines Bits $B_{ES_Abbruch}$ erreicht, das das Signal ti sofort in seinen ausgeschalteten Zustand steuert. Dies wiederum hat zur Folge, daß das zugehörige Einspritzventil 11 ebenfalls sofort geschlossen und die Einspritzung damit beendet wird.

Ergibt sich bei dem Vergleich hingegen, daß der Sollwert mk_{soll} noch größer ist als die aktuell berechnete Kraftstoffmasse, so wird die Einspritzung noch nicht abgebrochen. Es kann in diesem Fall dann vorausberechnet werden, wann die aktuelle Kraftstoffmasse den Sollwert mk_{soll} überschreitet, um auf diesen Zeitpunkt dann ausgerichtet die Einspritzung abzubereiten. Mit dieser Prädiktion kann insbesondere die Kraftstoffmasse abgeschätzt werden, die eingespritzt werden würde, wenn nach einer weiteren Zeitdauer die Einspritzung abgebrochen werden würde. Überschreitet diese abgeschätzte Kraftstoffmasse den Sollwert mk_{soll} , so kann entweder sofort die Einspritzung abgebrochen werden mit der Folge einer geringen Mindereinspritzung, oder es kann die Einspritzung nach der weiteren Zeitdauer abgebrochen werden mit der Folge einer geringen Mehreinspritzung oder es kann diejenige Zeitdauer berechnet werden, nach der die Einspritzung abgebrochen werden muß, damit die eingespritzte Kraftstoffmasse exakt dem Sollwert mk_{soll} entspricht.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeugs, bei dem Kraftstoff unter einem Druck ($prail$) direkt in einen Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt wird, und bei dem der auf den Kraftstoff einwirkende Druck ($prail$) gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß die bei

dem während derselben Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck ($prail$) ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus einer Veränderung des während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks ($prail$) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck ($prail$) auf eine zu große eingespritzte Kraftstoffmasse und/oder auf eine zu kleine eingespritzte Kraftstoffmasse und/oder auf eine fehlende eingespritzte Kraftstoffmasse geschlossen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Fehleroutine gestartet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus der maximalen Veränderung (Δp) des während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Drucks ($prail$) berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftstoffmasse mittels einer linearen Funktion und/oder einer Integration und/oder aus einem Kennfeld und/oder einer Wurzelfunktion berechnet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftstoffmasse mittels eines Einspritzventils (11) in den Brennraum eingespritzt wird, und daß die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus einer ersten Teilkraftstoffmasse ($mk_r.EV$ -öffnen) während des Öffnens des Einspritzventils (11), einer zweiten Teilkraftstoffmasse (mk_{old}) während des geöffneten Zustands des Einspritzventils (11) und einer dritten Teilkraftstoffmasse ($mk_r.EV$ -schließen) während des Schließens des Einspritzventils (11) berechnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Teilkraftstoffmasse ($mk_r.EV$ -öffnen) aus dem auf den Kraftstoff einwirkenden Druck ($prail.EV$ -öffnen) im Zeitpunkt des Beginns des Öffnens des Einspritzventils (11) berechnet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite und die dritte Teilkraftstoffmasse (mk_{old} , $mk_r.EV$ -schließen) aus dem aktuellen auf den Kraftstoff einwirkenden Druck ($prail$ aktuell) berechnet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Berechnung der ersten, zweiten und/oder dritten Teilkraftstoffmasse ($mk_r.EV$ -öffnen, mk_{old} , $mk_r.EV$ -schließen) Funktionen (19) oder Kennfelder (17, 18, 20) oder dergleichen verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Einspritzung abgebrochen wird ($B_{ES_Abbruch}$), wenn die bei der aktuellen Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse einen vorgegebenen Sollwert (mk_{soll}) überschreitet.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß vorausberechnet wird, in welchem Zeitpunkt die bei der aktuellen Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse einen vorgegebenen Sollwert (mk_{soll}) überschreiten würde, und daß in Abhängigkeit von diesem Zeitpunkt die aktuelle Einspritzung abgebrochen wird ($B_{ES_Abbruch}$).

13. Elektrisches Speichermedium, insbesondere Read-Only-Memory, für ein Steuergerät (10) einer Brenn-

dem ein Programm abgespeichert ist, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12 geeignet ist.

14. Brennkraftmaschine insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit mindestens einem Brennraum, dem ein Einspritzventil (11) zugeordnet ist, mit dem Kraftstoff direkt in den Brennraum einspritzbar ist, mit einer Pumpe (2, 5) zur Erzeugung eines Drucks (prail) auf den dem Einspritzventil (11) zugeführten Kraftstoff, mit einem Drucksensor (8) zur Messung des auf den Kraftstoff wirkenden Drucks (prail), und mit einem Steuergerät (10) zur Steuerung und/oder Regelung der eine Verbrennung des Kraftstoffs in dem Brennraum beeinflussenden Größen, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (10) die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus dem während derselben Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck (prail) ermittelt.

15. Brennkraftmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (10) aus dem während der Einspritzung auf den Kraftstoff einwirkenden Druck (prail) auf eine zu große eingespritzte Kraftstoffmasse und/oder auf eine zu kleine eingespritzte Kraftstoffmasse und/oder auf eine fehlende eingespritzte Kraftstoffmasse schließt.

16. Brennkraftmaschine nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Steuergerät (10) die bei der Einspritzung eingespritzte Kraftstoffmasse aus einer ersten Teilkraftstoffmasse (mkr.EV-öffnen) während des Öffnens des Einspritzventils (11), einer zweiten Teilkraftstoffmasse (mkr.EV-schließen) während des Schließens des Einspritzventils (11) berechnet.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

